Pflanzen auf Schwermetallhalden im Ostalpenraum – Neue Befunde

Von WOLFGANG PUNZ
unter Mitarbeit von
MANFRED ENGENHART, SIGRID M. KÖRBER-ULRICH, GABRIELE KOVACS, ULRIKE PUNZ-GUSCHLBAUER, AMELI THONKE, BARBARA WIELÄNDER, ISABEL WIESHOFER

(Vorgelegt in der Sitzung der math.-nat. Klasse am 4. März 1993 durch das w. M. KARL BURIAN)

Summary

The paper presents new data on vegetation and Cd, Pb, Cu and Zn content of soil and plants from heavy metal contaminated sites in Carinthia (A), Salzburg (A), South Tyrol (I), Trentino (I) and Friuli – Venezia Giulia (I). All 7 sites can be graded as heavily contaminated. Some plants (*Alyssum wulfenianum, Kernera saxatilis, Linaria alpina, Viola tricolor*) exclude heavy metals from the shoot, while others (*Thlaspi*-species, *Cardaminopsis halleri*) concentrate metals in above-ground parts. Beside this, heavy metal content of some evertebrates was also determined.

1. Einleitung

Der Ostalpenraum ist „reich an armen Lagerstätten“ (LECHNER et al. 1964, HOLZER 1966), welche zum Teil bereits seit der Frühzeit abgebaut werden (KIRNBAUER 1968). Nur wenige derartige Lokalitäten wurden jedoch bisher floristisch-vegetationskundlich erfaßt bzw. die vorkommenden Pflanzen auf ihr Verhalten gegenüber den belastenden Schwermetallen untersucht. In den letzten Jahren wurden nun mehrfach einschlägige Befunde gesammelt und publiziert (Überblicksarbeiten: PUNZ 1991a, PUNZ et al. 1990a [Tirol], 1990b [Steiermark], ZECHMEISTER & PUNZ 1990 [Moose]); die vorliegende Veröffentlichung enthält neue Befunde von bereits bekannten Standorten.

2. Material und Methoden

Zur Bestimmung der pflanzlichen Schwermetallgehalte wurden die Proben sorgfältig mit destilliertem Wasser gewaschen. Im Falle der Wurzeln ist eine saubere Trennung von Boden und Feinwurzeln praktisch unmöglich. Um eine Kontamination mit partikelgebundenen Schwermetallen auszuschließen, wurde eine intensive mechanische Reinigung durchgeführt. Dies hat zur Folge, daß die wahren Schwermetallgehalte der Wurzeln wahrscheinlich höher liegen als in den Tabellen angegeben, was uns jedoch als das kleinere Übel erschien. Anschließend an die Waschprozedur erfolgten Trocknung, Einwaage, Aufschluß und

Messung der Proben, letztere mittels AAS (Fa. Varian). Die Analyse der zoologischen Proben erfolgte in gleicher Weise, jedoch an ganzen, ungereinigten Tieren. Bei den Schwermetalltabellen wurden folgende Abkürzungen verwendet: a alt, B Blätter, BlSpr Blütensprosse, Blü Blüten, BO Boden, Fr Früchte, FK Pilzfruchtkörper, GbRos Grundblattrosette, j jung, KL Keimling, MY Mycel, O Oberirdische Organe, St Stengel, W Wurzel, Wz Wurzel – innen, Wp Wurzel – außen.

Die Vegetationsaufnahmen wurden nach der Methode von BRAUN-BLANQUET durchgeführt.

3. Standortsbeschreibungen

Die Beschreibung jedes Standorts wurde möglichst nach folgendem, grundsätzlich gleichbleibenden Schema durchgeführt: geographische Lage (Koordinaten bezogen auf Greenwich), Seehöhe, evtl. Neigung/Exposition; Kurzcharakteristik; Geologisch-mineralogische Charakteristik (an Hand einschlägiger Literatur); Vegetation der Umgebung; Kartenunterlagen (ÖK = Österreichische Karte 1 : 50.000 bzw. 1 : 25.000 des Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen Wien; AV = Alpenvereinskarte 1 25.000; IGMI = Carta d'Italia alla scala di 1 : 25.000 – Istituto Geografico Militare; SpKÖU = Spezialkarte 1 : 75.000 der Österreichisch-Ungarischen Monarchie); bisher vorliegende Angaben (Literatur). Anschließend werden die floristisch/soziologischen Befunde, Analysenergebnisse sowie allenfalls zoologische Daten dargestellt.

Die Namen der Höheren Pflanzen sind grundsätzlich nach EHRENDORFER (1973) wiedergegeben. Die Namen der Moose sind, sofern nicht anders angegeben, nach FRAHM & FREY (1983), diejenigen der Flechten nach CLAUZADE & ROUX cit. TÜRK & WITTMANN (1987) zitiert. Für die Pilze wurden MOSER (1983) und JÜLICH (1984) herangezogen.

3.1. Boden

Lage: 46°40' lat N x 13°30' long E, **Seehöhe** ca. 1050 m, **Höhenerstreckung** im Meterbereich

Kurzcharakteristik: Ruinen einer Erzaufbereitung im Talbereich (in der Nähe des Weilers „Boden") am Nordfuß des „Mitterberg", zum Teil kleinere Schüttungen, teils bewachsen

Geologie, Mineralogie: Blei-Zink-Vererzung in Triasgesteinen (HOLLER 1953, SCHULZ 1960)

Vegetation der Umgebung: Nadelwald

Kartenunterlagen: ÖK 199/2 Stockenboi

Bisher vorliegende Angaben: keine (vgl. aber die pauschalen Angaben von ERNST 1974 über die Lokalität „Mitterberg")

Auf den zum Teil offenen Schüttungen wuchsen randlich reichlich *Silene vulgaris*, auch *Silene alpestris*, *Silene pusilla*, *Poa alpina*, *Orthilia secunda*, *Minuartia gerardii*, *Galium anisophyllum*, *Thymus* sp.

Auf einem im Wald gelegenen Haufen wurde folgende Vegetationsaufnahme gemacht:

Al (5. 7. 1991; 2 x 2 m²; Neigung 20° W; Deckung 35 %): *Silene vulgaris* 1, *Silene pusilla* 1, *Silene alpestris* +, *Picea abies* KL +, *Larix decidua* KL +, *Minuartia gerardii* (+), *Galium anisophyllum* (+), *Poa alpina* (+), *Thymus* sp. +; *Rhytidiadelphus triqueter* 1; Moos (II) 1

Die Boden- und Pflanzenanalysen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefaßt.

		Cd	Pb	Cu	Zn
Silene alpestris	O	2	27	6	175
	W	21	800	5	844
	BO	346	7.233	4	80.384
Silene pusilla	O	8	120	5	1.067
	W	10	967	11	944
	BO	159	9.615	7	41.208
Silene vulgaris	O	0	13	6	394
	W	5	304	7	751
	BO	250	7.862	5	37.273

Tabelle 1: Pflanzen- und Bodenanalysen im Bereich Boden/Kärnten. Aufsammlung 5. 7. 1991. Angaben in ppm; Abkürzungen s. Material und Methoden

3.2. Hochobir/Seealpe

Lage: 46°30' lat N x 14°29' long E, **Seehöhe:** ca. 1700 m, **Neigung/Exposition:** 35° E

Kurzcharakteristik: Haldengebiet im Bergbaurevier Seealpe oberhalb der Eisenkappler Hütte

Geologisch-mineralogische Charakteristik: Blei-Zink-Mineralisation in mesozoischen Kalken des Drauzuges. Vgl. HOLLER (1977)

Vegetation der Umgebung: Weiden, kleinere Waldstücke

Kartenunterlagen: ÖK 203/4 Grafenstein

Bisher vorliegende Angaben: ERNST 1974, EXKURSIONSPROTOKOLL SAARBRÜCKEN 1974, PUNZ 1991b, KÖRBER-ULRICH 1989b

An Niederen Pflanzen konnte auf den Halden das Moos *Tortella* sp. und die Flechte *Cetraria islandica* beobachtet werden.

Der Gradient zwischen den offenen, grobschottrigen und steilen Haldenflanken einerseits, dem geschlossenen Rasen andererseits weist zahlreiche Differenzierungen auf. Die bisherigen Untersuchungen (vgl. auch PUNZ 1991b) legen die Vermutung nahe, daß sich in den ganz offenen Halden nur *Minuartia gerardii, Linaria alpina, Scrophularia juratensis;* bei höherem Feinerdeanteil anscheinend auch *Thlaspi kerneri, Poa alpina* halten können; randlich, ruhend, im feineren Material finden sich *Galium anisophyllum, Armeria alpina, Tortella* sp. Mit Zunahme der Verfestigung (Deckung noch immer < 40 %) kommen dann *Anthyllis vulneraria, Biscutella laevigata, Calamintha alpina, Cerastium arvense, Helianthemum* sp., *Silene alpestris & vulgaris, Thymus polytrichus* auf. Es muß jedoch betont werden, daß diesen Beobachtungen nur vorläufiger Cha-

rakter zukommt, da sie lediglich auf der Untersuchung der untersten Halden beruhen.

Den bereits bekannten Aufnahmen (vgl. PUNZ 1991b) konnte eine weitere, von einer etwas höher liegenden Halde stammende, hinzugefügt werden:

A1 (29. 5. 1992; 5 x 5 m; D 10 %; Exposition ca. 30°N) *Poa alpina* 1, *Minuartia gerardii* +, *Thlaspi kerneri* +, *Linaria alpina* +, *Scrophularia juratensis* +, *Draba aizoides* +; *Tortella* sp. 1

Für *Silene vulgaris* konnte KÖRBER-ULRICH (1989b) eine Zinkresistenz von 0,4–0,5 mMol, für *Armeria alpina* von 1–8 mMol $ZnSO_4$ ermitteln.

Einige neuere Boden- und Pflanzenanalysen (vgl. auch PUNZ 1991b) sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefaßt.

		Cd	Pb	Cu	Zn
Cardaminopsis halleri	St+B	139	86	10	4.271
	GbRos	190	112	12	5.320
	W	166	6.118	20	2.706
	BO	91	26.871	6	14.979
Linaria alpina 1	O	2	186	12	95
	W	65	961	18	1.589
	BO	41	38.737	13	23.242
Linaria alpina 2	O	1	181	10	63
	W	53	2.315	9	836
	BO	30	74.065	6	6.748
Thlaspi kerneri 1	O	45	124	12	1.800
	W	36	907	6	1.129
	BO	85	46.410	7	5.243
Thlaspi kerneri 2	O	33	100	9	1.363
	W	12	497	11	928
	BO	70	41.398	10	10.063
Thlaspi kerneri 1+2	Ba	140	1.171	24	6.320

Tabelle 2: Pflanzen- und Bodenanalysen von Halden am Hochobir. Aufsammlung vom 29. 5. 1992. Angaben im ppm; Abkürzungen s. Material und Methoden

3.3. Klausen (I)

Lage: 46°39' lat N x 11°33' long E, **Seehöhe** ca. 1100 m, **Neigung** ca. 40° N

Kurzcharakteristik: Haldensystem eines alten Bergbaugebiets (silber-, blei-, kupfer- und zinkhaltige Erze)

Geologie, Mineralogie: hydrothermale Erzgänge im Diorit (MUTSCHLECHNER 1972, EXEL 1980; vgl. auch KUNTSCHNER 1990)

Vegetation der Umgebung: Nadelwald

Kartenunterlagen: IGMI 11 IV NO Chiusa

Bisher vorliegende Angaben: GAMS 1966, 1972; PUNZ & WIESHOFER 1989

In Fortführung der früheren Untersuchungen (vgl. PUNZ & WIESHOFER 1989) wurden diesmal höher liegende Halden begangen. Neben den tieferstehenden angeführten Pflanzen (Tab. 3) konnte auch die Schwermetallflechte *Lecanora subaurea* am Standort aufgefunden werden.

Für *Silene vulgaris* gibt KÖRBER-ULRICH (1989a) eine Zinkresistenz von 0,1–500 mMol an.

		Cd	Pb	Cu	Zn
Orthilia secunda	O	0	6	12	69
	Fr	0	8	14	15
	BO	1	2.809	404	167
Avenella flexuosa	Blü	1	124	12	28
	St	0	52	7	19
	W	4	1.624	170	86
	BO	2	8.270	555	443
Pisolithus arrhizus	FK	1	20	9	20
	MY	8	886	325	345
	BO	1	192	461	148

Tabelle 3: Pflanzen- und Bodenanalysen von der St. Nikolaus-Halde bei Klausen. Aufsammlung 1. 8. 1991. Angaben in ppm; Abkürzungen s. Material und Methoden

Eine frühere Aufsammlung von Arthropoden im gleichen Haldenbereich erbrachte folgende Analyseergebnisse:

	n	Cd	Pb	Cu	Zn
Pardosa 1	1	7	4	118	297
Pardosa 2	1	4	2	140	307
Salticiden	1	4	6	–	1.523
Camponotus ligniperda 1	1	13	6	14	742
Camponotus ligniperda 2	1	7	9	47	–
Camponotus ligniperda 3	1	11	22	13	416
Camponotus ligniperda 4	1	9	19	32	590
Myrmica laevinodis 1	4	6	10	30	115
Myrmica laevinodis 2	4	5	21	41	145
Myrmica laevinodis 3	4	5	12	21	107
Myrmica laevinodis 4	4	7	11	27	114
Myrmica laevinodis 5	4	7	9	25	125
Myrmica laevinodis 6	4	3	19	29	108
Myrmica laevinodis 7	3	7	14	25	125

Tab. 4: Schwermetallanalysen an Arthropoden vom Standort Klausen.Aufsammlung 25. 6. 1988. Angaben in ppm; n = Anzahl der analysierten Proben, angegeben ist der Mittelwert

3.4. Monte Corno (I)

Lage: 46°07' lat N x 11°10' long E, **Seehöhe** ca. 900 m

Kurzcharakteristik: Duckelbauten mittelalterlicher und früherer Bergbaue auf silberhaltige Bleierze im Bereich des Monte Vaccino

Geologie, Mineralogie: Lagerstättenkomplex „Monte Calisio", Erzdolomit und Erzgänge in Quarzporphyr.
(POSEPNY 1880, TRENER 1899, 1914, CANAVAL 1916, EXEL 1980)

Vegetation der Umgebung: Laubmischwald, z. T. Wiesen

Kartenunterlagen: IGMI 21 III NE Lavis; SpKÖU Z. 21 Col. IV Trient

Bisher vorliegende Angaben: PUNZ & WIESHOFER 1989

		Cd	Pb	Cu	Zn
Fraxinus ornus	O W BO	0 26 30	7 464 9.384	5 13 44	8 80 738
Hepatica nobilis	O W	3 13	13 353	8 25	22 287
Cantharellus cibarius	FK	0	8	34	25
Laccaria amethystina	FK	2	13	82	49
Lactarius azonites	FK	4	1	13	27
Lactarius cremor	FK	1	1	14	23
Lactarius porninsis	FK	2	6	7	34
Marasmius alliaceus	FK	4	16	31	37
Mycena pura	FK	28	28	128	28
Russula cyanoxantha	FK	1	0	10	5
Russula rosacea	FK	0	13	36	16
Russula solaris	FK	1	1	43	32
Russula vesca	FK	1	11	23	31

Tabelle 5: Pflanzen- und Bodenanalysen von Pingen am Monte Corno. Aufsammlung 19. 7. 1992. Angaben in ppm; Abkürzungen s. Material und Methoden

3.5. Pflerschtal (I)

Lage: 47°57' lat N x 11°26' long E, **Seehöhe** ca. 1180 m, **Neigung** ca. 30° SE

Kurzcharakteristik: Bergbauhalde im Bereich Alter Berg (Gattern)

Geologie, Mineralogie: Blei /Zinkerze des Ötztaler-Stubaier Kristallins (SCHMITZ 1974, EXEL 1980)

Vegetation der Umgebung: Wald/Weide

Kartenunterlagen: ÖK 175 Sterzing; IMGI 4 I NE Colle Isarco

Bisher vorliegende Angaben: PUNZ & WIESHOFER 1989

An Exemplaren von *Silene rupestris* (Aufsammlung 20. 7. 1991; vgl. PUNZ & KÖRBER 1993) konnte erhöhte Zinkresistenz (2–4 mMol) festgestellt werden (KÖRBER-ULRICH 1989a hatte bereits früher eine erhöhte

Zinkresistenz bei *Silene vulgaris* [1 mMol] ermittelt.) Die parallel bestimmten Analysenwerte sind in Tab. 6 zusammengefaßt.

		Cd	Pb	Cu	Zn
Silene rupestris	O	3	26	8	96
Silene rupestris	W	60	413	30	869
Silene rupestris	BO	67	8.148	510	16.216

Tab. 6: Pflanzen- und Bodenanalysen von Halden im Pflerschtal. Aufsammlung 20. 7. 1992. Angaben in ppm; Abkürzungen s. Material und Methoden

Die Aufsammlung und Analyse von Arthropoden am Standort brachte folgende Ergebnisse.

	n	Cd	Pb	Cu	Zn
Pardosa 1	1	13	12	112	779
Pardosa 2	1	7	5	53	440
Pardosa 3	1	9	11		574
Pardosa 4	1	21	16	105	493
Pardosa 5	1	12	9	45	295
Pardosa 6	1	11	17	103	540
Pardosa 7	1	2	9	29	106
Pardosa 8	1	10	37	45	345
Pardosa (Eier)		0	2	37	81
Pardosa (Kokon)	1	3	2.460	125	1.425

Tab. 7: Schwermetallanalysen an Arthropoden von Halden im Pflerschtal. Aufsammlung 25. 6. 1988. Angaben in ppm; n = Anzahl der analysierten Proben, angegeben ist der Mittelwert

3.6. Raibl – Cave del Predil (I)

Lage: 46°27' lat N x 13°35' long E, **Seehöhe:** ca. 1000 m, **Neigung/Exposition:** ±E, **Höhenerstreckung:** etliche 100 m

Kurzcharakteristik: Halden des 1990 stillgelegten Zinkbergbaus; Flußschotter

Geologisch-mineralogische Charakteristik: Blei-Zink-Mineralisationen in mesozoischen Kalken des Drauzuges; vgl. auch BRIGO & OMENETTO (1978)

Vegetation und Umgebung: ± Wald

Kartenunterlagen: IGMI 14^A III NO Cave del Predil

Bisher vorliegende Angaben: STUR (1857), ERNST (1965, 1974), MELZER (1965), RASCIO (1977), REEVES & BROOKS (1983), LEITA et al. (1988), LAUSI & CUSMA VELARI (1986), PUNZ (1991b)

Auf den extremen Haldenflächen finden sich zum Teil nur reine Bestände von *Silene vulgaris,* daneben u. a. *Minuartia gerardii,* selten *Tussilago farfara* und Moosanflug (nach Angaben von ERNST 1965, 1974: *Tortella tortuosa*). SIEGHARDT (unveröff./15. 8. 1989) fand auf den Halden u. a. *Thlaspi rotundifolium* ssp. *cepaeifolium, Biscutella laevigata, Euphrasia salisburgensis* und *tricuspidata, Deschampsia cespitosa, Solidago virgaurea, Salix appendiculata.* PUNZ & KÖRBER (1993) konnten eine Zinkresistenz von 0,5–1 mMol an *Viola tricolor* vom Werkbereich ermitteln; die Identität mit dem von LAUSI & CUSMA VELARI (1986) beschriebenen Zinkveilchen *Viola tricolor* spp. *alpina* var. *raiblensis* ist zweifelhaft. Auch *Alyssum wulfenianum* dürfte für die Haldenstandorte charakteristisch sein (MELZER 1965, REEVES & BROOKS 1983). Daneben konnten wir noch *Asplenium viride, Cardaminopsis halleri, Galium anisophyllum, Kernera saxatilis, Melandrium rubrum, Poa alpina, Rumex acetosella* und *Scrophularia juratensis* im Bereich der Halden beobachten. Im Flußschotter unterhalb des Werks wachsen *Alyssum wulfenianum, Silene vulgaris, Minuartia gerardii, Poa alpina, Dianthus sylvestris, Thlaspi rotundifolium* ssp. *cepaeifolium, Thymus* sp.

		Cd	Pb	Cu	Zn
Cardaminopsis halleri	BlSpr	11	207	10	4.389
	B	23	80	6	14.232
	F	13	31	5	4.504
	W	8	1.536	16	2.017
	BO	90	17.692	13	122.446
Viola tricolor	B	8	29	7	367
	W	6	374	26	465
	BO	72	8.076	11	48.731
Alyssum wulfenianum	B	3	80	7	281
	Fj	1	25	33	33
	W	4	281	13	528
	BO	33	18.958	20	22.400
Kernera saxatilis	BlSpr	2	11	7	34
	B	4	61	14	411
	Fj	1	23	17	63
	W	4	216	13	158
	BO	33	4.337	8	15.092

Tab. 8: Pflanzen- und Bodenanalysen von Halden in Raibl. Aufsammlung vom 30. 5. 1992. Angaben in ppm; Abkürzungen s. Material und Methoden

3.7. Ramingstein

Lage: 47°04' lat N x 13°51' long E, **Seehöhe** ca. 1150 m, **Neigung** ca. 35° N

Kurzcharakteristik: Haldenfeld des Kräofen-Reviers („Siebenschläferwand") südlich der Mur (= schattseitig); Blockschutt, vereinzelt feinerkörniges Material

Geologie, Mineralogie: Blei-Silberlagerstätte in quarzitischen Glimmerschiefern (WEISS 1951, THURNER 1958, MUTSCHLECHNER 1967, MEIXNER 1974, KÖSTLER 1986)

Vegetation der Umgebung: Wald

Kartenunterlagen: ÖK 158 Stadl an der Mur

Bisher vorliegende Angaben: PUNZ & ENGENHART (1990)

Ergänzend zu den früheren Angaben konnten noch die Flechten *Cladonia chlorophaea, Cladonia furcata, Cladonia pyxidata, Stereocaulon alpinum, Stereocaulon rivulorum* aufgefunden werden. Eine Vegetationsaufnahme im Schulterbereich der großen Halde (im Übergang zum flacheren oberen Bereich) ergab folgendes Bild:

A1 (2 x 2 m; 15o NE; D 40 %): *Silene vulgaris* 2, *Silene nutans* 2, *Silene rupestris* 1, *Asplenium septentrionale* 1, *Avenella flexuosa* 1, *Thlaspi caerulescens* 1, *Larix decidua* KL +, *Picea abies* KL +, *Betula pendula* KL (r), *Polypodium vulgare* (r); Flechten 2.

Eine zellphysiologische Untersuchung an *Silene rupestris* (PUNZ & KÖRBER 1993) erbrachte eine erhöhte Zinkresistenz, die im Bereich von 0,5–2 mMol lag.

Die Boden- und Pflanzenanalysen sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefaßt:

		Cd	Pb	Cu	Zn
Silene vulgaris	O	2	9	11	379
	Wz	4	1.120	18	189
	Wp	40	4.840	36	859
	BO	23	19.506	329	4.471
Silene rupestris 1	O	3	179	9	286
	W	11	5.416	58	314
	BO	16	14.443	241	3.784
Silene rupestris 2	O	1	18	11	126
	W	5	3.770	47	245
	BO	22	19.308	947	7.854
Silene rupestris 1+2+3	Ba	6	568	25	471
Silene nutans	O	1	16	11	405
	Wz	5	414	9	371
	Wp	12	1.036	13	464
	BO	19	22.193	287	1.252
Asplenium septentrionale 1	Oj	4	54	4	214
	Oa	8	400	13	548
	W	15	16.200	207	789
Asplenium septentrionale 2	Oj	2	41	6	207
	Oa	4	346	9	557
	W	10	18.500	252	898
	BO	26	27.350	432	2.993
Thlaspi caerulescens 1	O	34	153	10	10.394
	W	72	10.767	23	3.000
	BO	18	9.323	206	2.877

Fortsetzung auf S. 10

		Cd	Pb	Cu	Zn
Thlaspi caerulescens 2	GbRos W BO	128 670 31	124 6.500 9.253	7 52 473	6.683 2.825 3.021
Thlaspi caerulescens 3	O W BO	169 104 36	86 1.488 15.459	7 38 683	10.122 2.028 3.600
Thlaspi caerulescens 1+2+3	Ba	188	320	21	7.093

Tab. 9: Pflanzen- und Bodenanalysen von Halden bei Ramingstein. Aufsammlung vom 4. 7. 1991. Angaben in ppm; Abkürzungen s. Material und Methoden

Die Aufsammlung und Analyse von Arthropoden am Standort brachte folgende Ergebnisse:

	n	Cd	Pb	Cu	Zn
Camponotus ligniperda 1	1	5	1.864	28	427
Camponotus ligniperda 2	1	19	199	22	862
Camponotus ligniperda 3	1	10	3.387	40	374

Tab. 10: Schwermetallanalysen an Arthropoden von Halden bei Ramingstein; Angaben in ppm; n = Anzahl der analysierten Proben, angegeben ist der Mittelwert

4. Besprechung der Ergebnisse

Betrachtet man die Schwermetallgehalte der Böden, so können alle Standorte als extrem stark belastet eingestuft werden. Die Zinkgehalte sind – mit Ausnahme von Klausen, Monte Corno und Ramingstein – fünfstellig („normal" bis 300 ppm nach FINCK 1982; andere Autoren geben z. T. wesentlich niedrigere „Normalwerte" an), mit den beiden Maximalwerten in Boden bzw. Raibl. (80.000 bzw. 122.000 ppm). Auch die Bleigehalte („normal" 5–100 ppm) sind vier- bis fünfstellig; hier wurden die höchsten Werte am Hochobir (> 70.000 ppm) gemessen; bemerkenswert ist vielleicht, daß unter der Vegetationsdecke am Monte Corno (Trentino/Italien) immerhin noch Bleiwerte von mehr als 9.000 ppm festgestellt wurden. Die Werte bei Cadmium (zwei- bis dreistellig; „normal" bis 2 ppm) sind ebenfalls beträchtlich. Die Kupfergehalte („normal" 5–100 ppm) sind unterschiedlich, mit Maximalwerten in Klausen (> 500 ppm), Pflerschtal (> 500 ppm) und Ramingstein (900 ppm).

Die genannten hohen Substratkonzentrationen finden nur teilweise eine Entsprechung in gleichermaßen erhöhten Schwermetallgehalten der pflanzlichen Substanz. BAKER (1981, 1987) unterscheidet hiezu an Hand der Schwermetallgehalte der Sprosse drei verschiedene pflanzliche Reaktionsweisen bzw. Typen:

„accumulator“ (Metalle werden in oberirdischen Pflanzenteilen angereichert; shoot/root ratio > 1),

„excluder“ (der Metallgehalt im Sproß wird über einen weiten Bereich von Bodenschwermetallkonzentrationen konstant gehalten, indem die Translokation aus der Wurzel oder bereits die Aufnahme unterbunden wird; shoot/root ratio < 1), und

„indicator“ (hier soll die interne Konzentration annähernd gleichmäßig mit der äußeren steigen; Punz & Sieghardt 1993 schlagen hiefür den Begriff „intermediate group“ vor).

Pflanzen wie *Alyssum wulfenianum, Viola tricolor, Kernera saxatilis* und *Linaria alpina* können ganz offensichtlich dem „excluder“-Typ zugerechnet werden, da bei extrem hohen Bodenschwermetallgehalten (Maximalwerte bis 120.000 ppm Zn [Raibl], bis 23.000 ppm Zn [Hochobir]) nur geringfügig erhöhte Gehalte in den oberirdischen Pflanzenteilen nachweisbar waren. Demgegenüber erwies sich erneut die Gattung *Thlaspi* als ausgeprägte „accumulator“-Spezies: zumindest Zink wird in oberirdischen Pflanzenteilen über die Konzentration in den Wurzeln hinaus angesammelt. Dies gilt zumindest für die Arten *caerulescens* [Ramingstein], *kerneri* [Hochobir], *cepaeifolium* [Raibl; vgl. Rascio 1977] und sicherich auch *rotundifolium* [Tegestal, vgl. Punz 1990]). Auch *Cardaminopsis halleri* (Hochobir, Raibl) ist dieser Kategorie zuzuordnen. Als weitere „accumulator“-Arten auf Schwermetallstandorten im Ostalpenraum werden von Punz & Sieghardt (1993) die Arten *Erysimum sylvestre* und *Minuartia gerardii* (= *„verna“*) geführt. Die entsprechenden Angaben von Reeves & Brooks (1983) zur Hyperakkumulation von Blei und Zink durch *Alyssum wulfenianum* und *Thlaspi rotundifolium* ssp. *cepaeifolium* im Bereich Raibl erscheinen jedoch fragwürdig; insbesondere die oberirdische Anreicherung von Blei steht im Gegensatz zur gesamten einschlägigen Literatur (Übersicht bei Punz & Sieghardt 1993). Da die erwähnten Untersuchungen an Herbarmaterial durchgeführt wurden, können Fehler auf Grund anhaftender Staubpartikel (die Vorgangsweise bei der Reinigung der Proben ist nicht nachvollziehbar) kaum ausgeschlossen werden.

Jene Pflanze, welche am häufigsten auf schwermetallhaltigen Substraten auftritt, ist *Silene vulgaris*, bisweilen in der Unterart *glareosa*, die von Punz & Sieghardt (1993) – wie die nachfolgend angeführten Arten *rupestris* und *alpestris* – zur „intermediate group“ gestellt wird (vgl. zum Folgenden Punz 1992, Orasche, in Vorb.). Neben *Silene vulgaris* (selten *statt* dieser; vgl. Punz & Engenhart 1990) konnte an zahlreichen Haldenstandorten über silikatischem Gestein auch *Silene rupestris* gefunden werden. An Pflanzen der Standorte Pflerschtal, Ramingstein und Schneeberg wiesen Punz & Körber (1993) erhöhte protoplasmatische Schwermetalltoleranz nach; ein entsprechend eindeutiger Befund fehlt vorläufig für die dritte häufig auf Schwermetallhalden vorkommende *Silene*-Art, nämlich *Silene alpestris*.

Als echte „Erzpflanzen“, etwa im Sinn von Gams (1966) – also Pflanzen, die ausschließlich auf Schwermetallstandorten vorkommen

(„Eumetallophytes“; vgl. ANTONOVICS et al. 1971) –, kann man jedoch die genannten *Silene*-Arten wohl ebensowenig bezeichnen wie die meisten Höheren Pflanzen im Ostalpenraum, die auf Schwermetallhalden gefunden worden sind. Allenfalls verdienen drei Endemiten im Gebiet von Raibl, nämlich *Thlaspi rotundifolium* ssp. *cepaeifolium*, das „Zinkveilchen“ *Viola tricolor* subsp. *subalpina* var. *raiblensis* und wohl auch *Alyssum wulfenianum* eine solche Charakterisierung. Für alle anderen auf Schwermetallstandorten vorkommenden Pflanzen erscheint allenfalls der Begriff „Standortsökotypen“ angebracht.

Die soziologische Einstufung der Schwermetallvegetation durch ERNST ist, wie bereits mehrfach (vgl. PUNZ 1991a, b) dargetan, nicht haltbar. Der Klarheit halber seien hier einige Anmerkungen beigefügt:

Bei ERNST (1974, z. T. auch noch 1990) werden die auf Schwermetallhalden häufig vorkommenden Spezies *Silene cucubalus* und *Minuartia verna* (bei ERNST 1965 noch als var. *humilis* beziehungsweise ssp. *hercynica* gedeutet) als Klassenkennarten aufgefaßt. Es handelt sich dabei einerseits um *Silene vulgaris* (zumindest für Raibl: ssp. *glareosa*, vgl. hiezu bereits MELZER 1973), andererseits um *Minuartia gerardii* (vgl. hiezu HARTL et al. 1992). Die namengebende Assoziationskennart für das „Thlaspietum cepaeifolii“ (welches sich von den Karnischen Alpen über Gailtaler Alpen bis zu den Karawanken erstrecken soll, vgl. ERNST 1974) ist tatsächlich auf das Gebiet von Raibl – Arnoldstein beschränkt (vgl. MELZER 1965, 1969, 1974, POLATSCHEK 1966, HARTL et al. 1992). Auf den Schwermetallhalden der Jauken findet sich lediglich *Thlaspi rotundifolium* s. str. (MELZER 1965, SIEGHARDT unveröff.), auf den Bergbauhalden der Petzen und des Hochobirs dagegen *Thlaspi minimum* (= *kerneri*) (MELZER 1965, 1968, PUNZ 1991b; vgl. HARTL et al. 1992). Eine gültige Neubewertung der Schwermetallsoziologie für den untersuchten Raum steht noch aus; eine Zuordnung zu den Violetea calaminariae erscheint jedoch ausgeschlossen (MUCINA & PUNZ, in Vorb.).

Was schließlich die untersuchten Arthropoden betrifft, so weisen diese Metallkonzentrationen auf, die z. T. weit über jenen liegen, wie sie in Tieren unbelasteter Gebiete gefunden werden können; auch eine Anreicherung in der Nahrungskette erscheint plausibel. Auf Grund der geringen Zahl experimenteller Befunde ist die ökotoxikologische Relevanz der gefundenen Werte jedoch derzeit noch schwer abschätzbar (vgl. hiezu VOGEL 1988, GINTENREITER 1990, GINTENREITER & VOGEL 1990).

5. Literatur

ANTONOVICS, J., BRADSHAW, A. D. & TURNER, R. G. (1971): Heavy metal tolerance in plants. Adv. Ecol. Res. 7:1–85.

BAKER, A. J. M. (1981): Accumulators and excluders – strategies in the response of plants to heavy metals. J. Plant Nutrition 3: 643–654.

BAKER, A. J. M. (1987): Metal tolerance. New Phytologist 106: 93–111.

BRIGO, L., & OMENETTO, P. (1978): Scientific research of the Austrian projects of the International Geological Correlation Program (IGCP) until 1976. ÖAW Schriftenreihe Erdwiss. Komm. 3: 103–110.

CANAVAL, R. (1916): Das Vorkommen silberhaltiger Bleierze am Calesberg (Monte Calisio) bei Trient. Z. Prakt. Geol. 24: 18–25.

EHRENDORFER, F. (1973): Liste der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. Fischer, Stuttgart.

ERNST, W. (1965): Ökologisch-soziologische Untersuchungen in den Schwermetallpflanzengesellschaften Mitteleuropas unter Einschluß der Alpen. Abh. Landesmus. Naturkunde Münster 27: 1–54.

ERNST, W. (1974): Schwermetallvegetation der Erde. Fischer Stuttgart.

ERNST, W. H. O. (1990): Mine vegetation in Europe. Heavy metal tolerance in plants. In SHAW, J., ed.: Evolutionary aspects of heavy metal tolerance in Plants: 211–237. CRC Press, Boca Raton.

EXEL, R. (1980): Die Mineralien Tirols I. Südtirol und Trentino. Athesia, Bozen.

EXKURSIONSPROTOKOLL des Biogeographischen Institut Saarbrücken 1974.

FINCK, A. (1982): Pflanzenernährung in Stichworten. Hirt, Kiel.

FRAHM, J. P. & FREY, W. (1983): Moosflora. Ulmer, Stuttgart.

GAMS, H. (1972): Zur Pflanzendecke um Klausen. Schlern 46: 395–398.

GAMS, H. (1966): Erzpflanzen der Alpen. – Jb. Ver. Schutz Alpenpfl. 31: 65–73.

GINTENREITER, S. & VOGEL, W. (1990): Zur Schwermetallbelastung haldenbewohnender Arthropoden im Mittleren Alpenraum. In PUNZ, W., KOVACS, G., MAUTHNER, G., SAPELZA, W., ULRICH, S. M., WIELÄNDER, B., & WIESHOFER, I.: Zur Ökologie und Ökophysiologie der Vegetation im Bereich des Bergbaugebietes St. Martin am Schneeberg im Passeier. Der Schlern 64: 508–509.

GINTENREITER, S. (1990): Die Schwermetallbelastung von Arthropoden verschiedener Haldenstandorte (Tirol – Lombardei). In PUNZ, W.: Experimentell-ökologischer Freilandkurs – Protokoll. Inst. f. Pflanzenphysiologie der Univ. Wien.

HARTL, H., KNIELY, G., LEUTE, G. H., NIKLFELD, H., & PERKO, M. (1992): Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen Kärntens. Naturwiss. Verein f. Kärnten, Klagenfurt.

HOLLER, H. (1953): Der Blei- und Zinkerzbergbau Bleiberg, seine Entwicklung, Geologie und Tektonik. Carinthia 143/63: 35–46.

HOLLER, H. (1977): Ergebnisse der zweiten Aufschlußperiode (1938–1941) beim Blei-Zink-Erzbergbau Eisenkappel in Kärnten (Hochobir, östliche Karawanken). – Carinthia II 167/87: 31–52.

HOLZER, H. (1966): Erläuterungen zur Karte der Lagerstätten mineralischer Rohstoffe der Republik Österreich. Geol. B.-A., Wien.

JÜLICH, W. (1984): Kleine Kryptogamenflora IIb/1. Die Nichtblätterpilze, Gallertpilze und Bauchpilze. Fischer, Stuttgart.

KIRNBAUER, F. (1968): Historischer Bergbau I und II. – Österreichischer Volkskundeatlas (3. Lfg.) 1–70.

KÖRBER-ULRICH, S. M. (1989a): Zellphysiologischer Teil (Resistenz von *Silene vulgaris* und *Saxifraga stellaris* an Schwermetallstandorten Südtirols und des Trentino). In PUNZ, W., & WIESHOFER, I.: Experimentell-ökologischer Freilandkurs – Protokoll. Inst. f. Pflanzenphysiologie der Univ. Wien.

KÖRBER-ULRICH, S. M. (1989b): Comparative studies on metal tolerance and metal uptake in *Silene vulgaris.* Vortrag IX. Tagung ÖAPP Ottenstein/NÖ.

KÖSTLER, H. J. (1986): Montangeschichtlicher Führer durch das Obere Murtal. Podmenik, Fohnsdorf.

KUNTSCHER, H. (1990): Südtirol – Bergwerke Höhlen Heilquellen. Steiger Verlag Berwang (Tirol).

LAUSI, D. & CUSMA VELARI, T. (1986): Caryological and morphological investigations on a new zinc violet. – Studia geobotanica 6: 123–129.

LECHNER, K., HOLZER, H., RUTTNER, A., & GRILL, R. (1964): Karte der Lagerstätten mineralischer Rohstoffe der Republik Österreich 1 : 1,000.000. Geol. B.-A., Wien.

LEITA, L., DE NOBILI, M., & SEQUI, P. (1988): Content of heavy metals in soils and plants near Cave del Predil, Udine, Italy. Agrochimica 32 (1): 94–97.

MEIXNER, H. (1974): Die Erz- und Minerallagerstätten Salzburgs. BHM 119: 503–512.

MELZER, H. (1965): Neues und Kritisches zur Flora von Kärnten. Carinthia II 155/ 75: 172–190.

MELZER, H. (1968): Botanisches von der Petzen. Jb. Ver. Schutz Alpenpfl. 33: 69–74.

MELZER, H. (1969): Beiträge zur Flora von Kärnten. Verh. Zool. Bot. Ges. 108/ 109: 127–137.

MELZER, H. (1973): Beiträge zur floristischen Erforschung Kärntens. Carinthia II 163/83: 425–439.

MELZER, H. (1974): Beiträge zur Flora von Kärnten und der Nachbarländer Salzburg, Osttirol und Friaul. Carinthia II 164/84: 227–243.

MOSER, M. (1983): Kleine Kryptogamenflora IIb/2. Die Röhrlinge und Blätterpilze. Fischer, Stuttgart.

MUTSCHLECHNER, G. (1967): Über den Bergbau im Lungau. Mitt. Ges. Salzburger Ldeskde. 107: 129–168.

MUTSCHLECHNER, G. (1972): Das Bergwerk am Pfunderer Berg. Der Schlern 46, 347–359.

POLATSCHEK, A. (1966): Cytotaxonomische Beiträge zur Flora der Ostalpenländer I. Österr. Bot. Z. 113, 1–46.

POSEPNY, F. (1880): Über den alten Bergbau von Trient. Arch. Prakt. Geol. I: 519–528.

PUNZ, W. (1990): Experimentell-ökologischer Freilandkurs (Tirol – Lombardei) – Protokoll. Inst. f. Pflanzenphysiologie der Univ. Wien.

PUNZ, W. (1991a): Zur Flora und Vegetation über schwermetallhaltigem Substrat im Ostalpenraum – Eine Übersicht. Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich 128: 1–18.

PUNZ, W. (1991b): Experimentell-ökologischer Freilandkurs (Kärnten) – Protokoll. Inst. f. Pflanzenphysiologie der Univ. Wien.

PUNZ, W. (1992): Schwermetallstandorte im Ostalpenraum und ihre Vegetation. Ber. naturw.-med. Ver. Innsbruck 79: 67–80.

PUNZ, W., & ENGENHART, M. (1990): Zur Vegetation auf Blei-Zink-Halden im Raum Niedere Tauern. Sitzgs.ber. Österr. Akad. Wiss., math.-naturw.Kl. I 198: 1–12.

PUNZ, W., & KÖRBER-ULRICH, S. M. (1993): Resistenzökologische Befunde von

Pflanzen an Schwermetallstandorten im Ostalpenraum. Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich 130, in press.
PUNZ, W., & SIEGHARDT, H. (1993): The response of roots of herbaceous plant species to heavy metals. Env. Exp. Bot 33, 85–98.
PUNZ, W., & WIESHOFER, I. (1989): Experimentell-ökologischer Freilandkurs – Protokoll. Inst. f. Pflanzenphysiologie der Univ. Wien.
PUNZ, W., KOVACS, G., MAUTHNER, G., SAPELZA, W., ULRICH S. M., WIELÄNDER, B. & WIESHOFER, I. (1990[a]): Zur Ökologie und Ökophysiologie der Vegetation im Bereich des Bergbaugebietes St. Martin am Schneeberg im Passeier. Der Schlern 64: 480–515.
PUNZ, W., SCHINNINGER, R., & ENGENHART, M. (1990[b]): Floristische Bearbeitungen von Schwermetallstandorten in der Steiermark – Eine Übersicht. Mitt. Naturw. Ver. Steiermark 120: 291–297.
RASCIO, N. (1977): Metal accumulation by some plants growing on zinc-mine deposits. Oikos 29: 250–253.
REEVES, R. D., & BROOKS, R. R. (1983): Hyperaccumulation of lead and zinc by two metallophytes from mining areas of Central Europe. Environmental Pollution (A) 31: 277–285.
SCHMITZ, N. (1974): Die Blei-Zinkerzlagerstätten des Pflerschtales. Geol. Rundschau 63 (I): 148–165.
SCHULZ, O. (1960): Die Pb-Zn-Vererzung der Raibler Schichten im Bergbau Bleiberg-Kreuth. Carinthia II, Sonderheft 22.
STUR, D. (1857): Über den Einfluß des Bodens auf die Vertheilung der Pflanzen. Sitzgs.-ber. kais. Akad. Wiss. (Wien), Math. naturw. Cl. 25: 349–421.
THURNER, A. (1958): Erläuterungen zur geologischen Karte Stadl-Murau. Geol. B.-A. Wien.
TRENER, G. B. (1899): Le antiche miniere di Trento. Ann. Soc. Alpinisti Tridentini 20: 27–90.
TRENER, G. B. (1914): Le miniere argentifere di Trento. Soc. „Mons Argentarius“ Grandi Rovereto.
TÜRK, R., & WITTMANN, H. (1987): Flechten im Bundesland Salzburg (Österreich) und im Berchtesgadener Land (Bayern, Deutschland). Sauteria 3 (Salzburg).
VOGEL, W. (1988): Über die Schwermetallbelastung der Makrofauna von Abraumhalden. In PUNZ, W.: Experimentell-ökologischer Freilandkurs – Protokoll. Inst. f. Pflanzenphysiologie der Univ. Wien.
WEISS, P. (1951): Die Blei-Silber-Lagerstätte Ramingstein. BHM 96: 141–151.
ZECHMEISTER, H., & PUNZ, W. (1990): Zum Vorkommen von Moosen auf schwermetallreichen Substraten, insbesondere Bergwerkshalden, im Ostalpenraum. Verh. Zool. Bot. Ges. 127: 95–105.

Wir danken:

Herrn Univ.-Prof. Dr. KARL BURIAN und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften

Dr. FRANZ MICHAEL GRÜNWEIS, Dr. LUISE SCHRATT, Univ.-Prof. Dr. R. TÜRK, Dr. THOMAS WRBKA (für Hilfe bei Bestimmung/Revision des Pflanzenmaterials)

Mag. SUSANNE GINTENREITER (für Hilfe bei Aufschluß und Analyse der Schwermetallproben)

Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien, A-1091 Wien, Althanstraße 14.